

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



подписано электронно-цифровой подписью

**Программа дисциплины**  
Квантовая теория магнитного резонанса Б3.ДВ.3

Направление подготовки: 011200.62 - Физика

Профиль подготовки: не предусмотрено

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Фаткуллин Н.Ф.

**Рецензент(ы):**

Скирда В.Д.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Скирда В. Д.

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_ 201\_\_\_\_г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК № \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_ 201\_\_\_\_г

Регистрационный № 6146514

Казань

2014

## **Содержание**

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Фаткуллин Н.Ф.  
Кафедра физики молекулярных систем Отделение физики , Nail.Fatkullin@kpfu.ru

## 1. Цели освоения дисциплины

Дается замкнутое систематическое изложение основ квантовой теории магнитного резонанса, общих для ЭПР и ЯМР. Изложение основано на формализме матрицы плотности (статистического оператора). Освоивший курс может без особого труда понимать современную специальную литературу.

## 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.ДВ.3 Профессиональный" основной образовательной программы 011200.62 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 3 курсе, 6 семестр.

Освоение дисциплины позволит понимать базовые понятия магнитного резонанса и самостоятельно усваивать современную научную литературу, связанную с более специальными вопросами магнитного резонанса. Рекомендуется студентам, специализирующимся по применению различных разделов радиоспектроскопии в конденсированных средах, химической физике и медицинской физике. Для понимания курса необходимо знание общих курсов физики и математики.

## 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-1 (общекультурные компетенции)	способность использовать в познавательной и профессиональной деятельности базовые знания в области математики и естественных наук;
ОК-3 (общекультурные компетенции)	способность приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии ;
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин;
ПК-10 (профессиональные компетенции)	способность понимать и излагать получаемую информацию и представлять результаты физических исследований .
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта;
ПК-4 (профессиональные компетенции)	способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин ;
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способность применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов физических исследований (в соответствии с профилем подготовки) ;

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки) ;

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

- основы математического аппарата,
- теорию атомной и молекулярной физики,
- иметь представление о магнитном резонансе, спин-спиновой, спин-решеточной релаксации, о теории линейной реакции, методе моментов.

2. должен уметь:

проводить простейшие расчеты, связанные с проблемой магнитного резонанса.

3. должен владеть:

навыками вычислений с применением методов операторной алгебры.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

Объяснить основные принципы магнитного резонанса. Понимать основную терминологию современного магнитного резонанса.

Демонстрировать умение делать простейшие количественные оценки.

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 6 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

#### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Введение	6	1	1	0	0	устный опрос
2.	Тема 2. Основные свойства спиновых операторов.	6	2	1	2	0	устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
3.	Тема 3. Операторы проектирования. Матрица плотности.	6	3	1	1	0	устный опрос
4.	Тема 4. Уравнение Лиувилля-фон Неймана.	6	4	1	2	0	устный опрос
5.	Тема 5. Поведение одиночного спина в постоянном магнитном поле.	6	5	1	2	0	контрольная работа
6.	Тема 6. Задача Рабби: поведение спина под действием РЧ поля и постоянного магнитного поля	6	6	1	2	0	устный опрос
7.	Тема 7. Феноменологические уравнения Блоха.	6	7	1	2	0	устный опрос
8.	Тема 8. Пространство Лиувилля для спиновых степеней свободы. Супероператор Лиувилля. Супероператор эволюции.	6	8	1	2	0	устный опрос
9.	Тема 9. Представление Шредингера. Представление Нейзенберга. Представление Дирака. Хронологическая экспонента Дайсона.	6	9	1	2	0	устный опрос
10.	Тема 10. Обобщенные кинетические уравнения Блоха-Редфлда-Вангенесса. Приближение коротких времен корреляций. Частотная матрица. Матрица кинетических коэффициентов.	6	10-11	2	2	0	устный опрос
11.	Тема 11. Установление термодинамического равновесия в спиновой подсистеме.	6	12	1	2	0	устный опрос

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
12.	Тема 12. Релаксация спина 1/2 в случайном магнитном поле. T1-релаксация. T2-релаксация.	6	13-14	2	2	0	контрольная работа
13.	Тема 13. Метод Кубо и Томиты. Линейный отклик. Тензор релаксации. Приближение Ван-Флека.	6	15-16	2	2	0	устный опрос
14.	Тема 14. Форма сигнала и релаксационная функция. Метод моментов. Вычисление второго момента жесткой решетки.	6	17-18	2	2	0	устный опрос
.	Тема . Итоговая форма контроля	6		0	0	0	экзамен
	Итого			18	25	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Введение

#### лекционное занятие (1 часа(ов)):

Основы магнитного резонанса. Основы квантовой теории.

### Тема 2. Основные свойства спиновых операторов.

#### лекционное занятие (1 часа(ов)):

Алгебра спиновых операторов, собственные значения и функции спинового оператора. Проекционные операторы. Статистические операторы.

#### практическое занятие (2 часа(ов)):

Решение уравнений с использованием спиновых операторов.

### Тема 3. Операторы проектирования. Матрица плотности.

#### лекционное занятие (1 часа(ов)):

Операторы проектирования в квантовой механике. Определение и физический смысл матрицы плотности. Уравнение для матрицы плотности. Физический смысл уравнения Лиувилля-фон Неймана.

#### практическое занятие (1 часа(ов)):

Решение уравнений для матрицы плотности.

### Тема 4. Уравнение Лиувилля-фон Неймана.

#### лекционное занятие (1 часа(ов)):

Ядерный магнитный момент,  $g$ -фактор, гиromагнитное отношение ядра. Обзор основных свойств практически значимых ядер.

#### практическое занятие (2 часа(ов)):

Определение и получение численных значений магнитного момента,  $g$ -фактора и гиromагнитного отношения для некоторых практически значимых типов ядер.

### Тема 5. Поведение одиночного спина в постоянном магнитном поле.

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Динамика спина в постоянном магнитном поле. Динамика спина в постоянном и радиочастотном поле. Резонанс. Уравнения Блоха, Эйлера.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Вывод уравнения для движения волчка в магнитном поле. Переход во вращающуюся систему координат.

**Тема 6. Задача Рабби: поведение спина под действием РЧ поля и постоянного магнитного поля**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Решение задачи Рабби: поведение спина под действием РЧ поля и постоянного магнитного поля

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Вывод основных соотношений для спина под действием радиочастотного и постоянного магнитного полей

**Тема 7. Феноменологические уравнения Блоха.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Феноменологические уравнения Блоха. Анализ эволюции спиновой системы с помощью классических представлений. Эволюция намагниченности спиновой системы под действием радиочастотного поля.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Анализ основных импульсных последовательностей с помощью уравнений Блоха.

**Тема 8. Пространство Лиувилля для спиновых степеней свободы. Супероператор Лиувилля. Супероператор эволюции.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Уравнение движения для статистического оператора. Теорема Лиувилля и уравнение Лиувилля для классической функции распределения. Общая структура кинетического уравнения для одночастичной функции распределения. Супероператор Лиувилля. Супероператор эволюции.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Практический расчет с использованием теоремы Лиувилля.

**Тема 9. Представление Шредингера. Представление Нейзенберга. Представление Дирака. Хронологическая экспонента Дайсона.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Определение и физический смысл уравнения Шредингера. Формализм Гейзенберга. Формализм Дирака. Введение хронологической экспоненты Дайсона.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение уравнения Шредингера для некоторых частных случаев.

**Тема 10. Обобщенные кинетические уравнения Блоха-Редфлда-Вангенесса. Приближение коротких времен корреляций. Частотная матрица. Матрица кинетических коэффициентов.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Вывод обобщенных кинетических уравнений Блоха-Редфлда-Вангенесса. Эволюция основных соотношений в приближении коротких времен корреляций. Частотная матрица и матрица кинетических коэффициентов.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Решение обобщенных кинетических уравнений Блоха-Редфлда-Вангенесса для практически значимых систем.

**Тема 11. Установление термодинамического равновесия в спиновой подсистеме.**

**лекционное занятие (1 часа(ов)):**

Процессы установления термодинамического равновесия в спиновой подсистеме. Механизмы релаксации.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Обзор частных случаев учета вкладов различных механизмов релаксации.

**Тема 12. Релаксация спина 1/2 в случайном магнитном поле. Т1-релаксация.**

**T2-релаксация.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Релаксация спина в случайном магнитном поле. Вычисления времени спин-решеточной релаксации T1 и спин-спиновой релаксации T2.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Примеры вычисление времен релаксации T2 (спин-решеточная) и T2 (спин-спиновая) для некоторых ситуаций.

**Тема 13. Метод Кубо и Томиты. Линейный отклик. Тензор релаксации. Приближение Ван-Флека.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Выражение формы сигнала через релаксационную функцию. Метод Кубо и Томиты. Линейный отклик спиновой системы. Определение тензора релаксации. Выражение формы сигнала через релаксационную функцию. Изменение основных соотношений в приближении Ван-Флека.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Определение среднеквадратического смещения частицы с помощью методом Кубо и Томиты.

**Тема 14. Форма сигнала и релаксационная функция. Метод моментов. Вычисление второго момента жесткой решетки.**

**лекционное занятие (2 часа(ов)):**

Обобщенный метод моментов. Секулярные взаимодействия. Общее выражение для момента.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Применение метода моментов на примерах. Расчет второго момента. Вычисление второго момента жесткой решетки. Обменное сужение.

**4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)**

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Введение	6	1	подготовка к устному опросу	1	устный опрос
2.	Тема 2. Основные свойства спиновых операторов.	6	2	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
3.	Тема 3. Операторы проектирования. Матрица плотности.	6	3	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
4.	Тема 4. Уравнение Лиувилля-фон Неймана.	6	4	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
5.	Тема 5. Поведение одиночного спина в постоянном магнитном поле.	6	5	подготовка к контрольной работе	3	контрольная работа
6.	Тема 6. Задача Рабби: поведение спина под действием РЧ поля и постоянного магнитного поля	6	6	подготовка к устному опросу	2	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
7.	Тема 7. Феноменологические уравнения Блоха.	6	7	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
8.	Тема 8. Пространство Лиувилля для спиновых степеней свободы. Супероператор Лиувилля. Супероператор эволюции.	6	8	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
9.	Тема 9. Представление Шредингера. Представление Нейзенберга. Представление Дирака. Хронологическая экспонента Дайсона.	6	9	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
10.	Тема 10. Обобщенные кинетические уравнения Блоха-Редфлда-Вангенесса. Приближение коротких времен корреляций. Частотная матрица. Матрица кинетических коэффициентов.	6	10-11	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
11.	Тема 11. Установление термодинамического равновесия в спиновой подсистеме.	6	12	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
12.	Тема 12. Релаксация спина 1/2 в случайном магнитном поле. T1-релаксация. T2-релаксация.	6	13-14	подготовка к контрольной работе	3	контрольная работа
13.	Тема 13. Метод Кубо и Томиты. Линейный отклик. Тензор релаксации. Приближение Ван-Флека.	6	15-16	подготовка к устному опросу	2	устный опрос
14.	Тема 14. Форма сигнала и релаксационная функция. Метод моментов. Вычисление второго момента жесткой решетки.	6	17-18	подготовка к устному опросу	2	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
	Итого				29	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Освоение дисциплины "Квантовая теория магнитного резонанса" предполагает использование в учебном процессе как традиционных (лекции, практические занятия с использованием методических материалов), так и инновационных образовательных технологий с применением активных и интерактивных форм проведения занятий: использование мультимедийных программ для подготовки и выступления студентов на семинарских занятиях с фото-, аудио- и видеоматериалами по предложенной тематике.

Используются такие образовательные технологии:

- проверка домашних заданий,
- проверка решений предложенных задач по изучаемому материалу;
- постановка перед студентами вопроса по теме, которая еще только будет изучаться, и студенты должны дать ответ, основываясь на интуиции, а затем этот вопрос подробно изучается.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

### Тема 1. Введение

устный опрос , примерные вопросы:

Основы магнитного резонанса. Ядерный спин. Магнитный момент ядра. Условия наблюдения ядерного магнитного резонанса. Основы квантовой теории.

### Тема 2. Основные свойства спиновых операторов.

устный опрос , примерные вопросы:

Определение собственных значений и собственных функций спинового оператора. Определение матрицы плотности. Определение и смысл проекционных операторов. Уравнение для матрицы плотности.

### Тема 3. Операторы проектирования. Матрица плотности.

устный опрос , примерные вопросы:

Операторы проектирования. Определение и смысл матрицы плотности. Уравнение для матрицы плотности. Уравнение Лиувилля-фон Неймана.

### Тема 4. Уравнение Лиувилля-фон Неймана.

устный опрос , примерные вопросы:

Определение магнитного момента ядра. Понятие спина ядра. Определение  $g$  - фактора и гиромагнитного отношения ядра.

### Тема 5. Поведение одиночного спина в постоянном магнитном поле.

контрольная работа , примерные вопросы:

Описание динамики спина в постоянном и радиочастотном поле. Явление резонанса. Вывод уравнения Блоха. Вывод уравнения Эйлера.

### Тема 6. Задача Рабби: поведение спина под действием РЧ поля и постоянного магнитного поля

устный опрос , примерные вопросы:

Решение задачи Рабби. Вывод основных соотношений для спина под действием РЧ поля и постоянного магнитного поля.

### Тема 7. Феноменологические уравнения Блоха.

устный опрос , примерные вопросы:

Вывод феноменологических уравнения Блоха. Анализ эволюции спиновой системы с помощью классических представлений. Описание эволюции намагниченности спиновой системы под действием радиочастотного поля.

**Тема 8. Пространство Лиувилля для спиновых степеней свободы. Супероператор Лиувилля. Супероператор эволюции.**

устный опрос , примерные вопросы:

Определение уравнения движения для статистического оператора. Теорема Лиувилля и уравнение Лиувилля для классической функции распределения. Описание общей структуры кинетического уравнения для одночастичной функции распределения. Супероператор Лиувилля. Супероператор эволюции.

**Тема 9. Представление Шредингера. Представление Нейзенберга. Представление Дирака. Хронологическая экспонента Дайсона.**

устный опрос , примерные вопросы:

Определение и физический смысл уравнения Шредингера. Формализм Гейзенберга. Описание формализма Дирака. Введение хронологической экспоненты Дайсона.

**Тема 10. Обобщенные кинетические уравнения Блоха-Редфлда-Вангенесса. Приближение коротких времен корреляций. Частотная матрица. Матрица кинетических коэффициентов.**

устный опрос , примерные вопросы:

Вывод обобщенных кинетических уравнений Блоха-Редфлда-Вангенесса. Определение эволюции основных соотношений в приближении коротких времен корреляций. Определение и смысл частотной матрицы и матрицы кинетических коэффициентов.

**Тема 11. Установление термодинамического равновесия в спиновой подсистеме.**

устный опрос , примерные вопросы:

Процессы установления термодинамического равновесия в спиновой подсистеме. Механизмы релаксации.

**Тема 12. Релаксация спина 1/2 в случайном магнитном поле. T1-релаксация. T2-релаксация.**

контрольная работа , примерные вопросы:

Вычисление времен релаксации T1 (спин-решеточная) и T2 (спин-спиновая) для частных случаев.

**Тема 13. Метод Кубо и Томиты. Линейный отклик. Тензор релаксации. Приближение Ван-Флека.**

устный опрос , примерные вопросы:

Сущность и ограничения метода Кубо и Томиты. Понятие линейного отклика системы, ограничения его применения. Понятие о тензоре релаксации, примеры его применения для решения практических задач. Приближение Ван-Флека, основные допущения, преимущества, области применения.

**Тема 14. Форма сигнала и релаксационная функция. Метод моментов. Вычисление второго момента жесткой решетки.**

устный опрос , примерные вопросы:

Формы ЯМР-сигнала, Лоренцова и Гауссова форма сигнала. Релаксационная функция. Основы метода моментов. Понятие второго момента. Принципы вычисления второго момента. Примеры вычисления второго момента для жесткой решетки.

**Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Форма аттестации: экзамен.

Максимальное количество баллов - 50

Магнитный момент.

Вычисление второго момента жесткой решетки.

Поведение одиночного спина в постоянном магнитном поле.

Тензор релаксации.

Гиromагнитное отношение.

T1-релаксация спина 1/2 в случайном магнитном поле.

Задача Рабби.

Форма сигнала и релаксационная функция.

Частотная матрица.

T2-релаксация спина 1/2 в случайном магнитном поле.

Уравнение Лиувилля-фон Неймана.

Матрица кинетических коэффициентов.

Хронологическая экспонента Дайсона.

Приближение коротких времен корреляций.

### **7.1. Основная литература:**

1.Основы квантовой теории ядерного магнитного резонанса : монография / Н. А. Сергеев, Д. С. Рябушкин. - М. : Логос, 2013. - 272 с. - ISBN 978-5-98704-754-5

<http://znamium.com/catalog.php?bookinfo=469025>

2.Ядерный магнитный резонанс в неорганической и координационной химии. Растворы и жидкости / Федотов М.А. - 2010. - ISBN: 978-5-9221-1202-4. - 384 стр. - Издательство "Физматлит". Электронно-библиотечная система.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2151](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2151)

3.Атомная физика. Том 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома : Учебник / Шпольский Э.В. - 2010. - 448 стр. - Издание 6-ое. - ISBN: 978-5-8114-1006-4. - Издательство "Лань". Электронно-библиотечная система.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=443](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=443)

### **7.2. Дополнительная литература:**

1.Основы квантовой механики : Учебник / Блохинцев Д.И. - 2014. - 672 стр. - Издание 7-ое. - ISBN: 978-5-8114-0554-1. - Издательство "Лань". Электронно-библиотечная система.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=619](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=619)

2.Специальные функции. Производные, интегралы, ряды и другие формулы. Справочник. / Брычков Ю.А. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 512 с. - Издательство "Лань"

Электронно-библиотечная система. [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=48182](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=48182)

### **7.3. Интернет-ресурсы:**

Кафедра химической физики - [http://portal.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=5731](http://portal.kpfu.ru/main_page?p_sub=5731)

Образовательный проект Варгина А.Н. - <http://www.ph4s.ru/index.html>

Релаксация магнитная - [http://femto.com.ua/articles/part\\_2/3383.html](http://femto.com.ua/articles/part_2/3383.html)

Физическая энциклопедия: Спиновый гамильтониан -

[http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_physics/4774/СПИНОВЫЙ](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/4774/СПИНОВЫЙ)

Хроника открытия магнитного резонанса -

<http://kpfu.ru/museums/muzej-laboratoriya-ekzavojskogo/nauchnaya-deyatelnost/chronika-otkrytiya-magnitnogo-rezonansa>

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)**

Освоение дисциплины "Квантовая теория магнитного резонанса" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Мультимедийная электронная доска.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011200.62 "Физика" и профилю подготовки не предусмотрено .

Автор(ы):

Фаткуллин Н.Ф. \_\_\_\_\_  
"\_\_\_" 201 \_\_\_ г.

Рецензент(ы):

Скирда В.Д. \_\_\_\_\_  
"\_\_\_" 201 \_\_\_ г.